干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2019.04.20

青藏铁路错那湖段沙漠化土地变化及成因分析①

陈长委， 伍永秋， 谭利华， 杜世松， 段金龙
（地表过程与资源生态国家重点实验室，北京师范大学地理科学学部，北京 100875）

摘 要： 青藏铁路格拉段铁路建设对沿线沙漠化土地变化的影响，是大家关注的焦点之一。通过利用地理信息系统和遥感监测技术，根据错那湖段 Landsat 影像、Google Earth 影像和气象资料等数据，结合野外实地考察建立解译标志，采用人机交互的目视解译方法，提取青藏铁路错那湖段 2001 年、2008 年和 2015 年沙漠化土地信息，并对沙漠化土地变化成因进行分析。同时对铁路沿线沙漠化土地的变化进行缓冲区分析。结果表明：（1）2001—2008 年沙漠化土地面积增加 2.21 km²，土地沙漠化程度呈减轻趋势；2008—2015 年沙漠化土地面积减少 8.9 km²，土地沙漠化程度持续减轻。（2）2001—2008 年，沙漠化土地面积的增加主要与人为因素有关，土地沙漠化程度减轻主要与自然因素有关。2008—2015 年，沙漠化土地面积的减少以及土地沙漠化程度的减轻主要与人为因素有关。（3）青藏铁路错那湖段 2 km 范围内土地沙漠化程度变化最为明显，以沙漠化程度减轻为主要特征，青藏铁路对周边环境的影响范围为 2 km。

关 键 词： 青藏铁路；错那湖；沙漠化；自然因素；人为因素
文章编号： 1000-6060(2019)04-0885-08(0885~0892)

青藏高原被称为“世界第三极”，地理位置和气候独特，生态环境敏感而脆弱[1]。近几十年来，受气候变化和人类活动影响，青藏高原沙漠化问题日益突出。遥感监测具有多时相、范围广以及数据容易获取等优点，许多学者利用遥感监测技术对青藏高原沙漠化进行了大量的研究[2-12]。截止到 2015 年青藏高原共有沙漠化土地 39.29×10^4 km²[13]，主要分布在山间盆地湖盆地、河流谷地和山前冲洪积平原[14]。青藏铁路格拉段地处青藏高原腹地，从北向南依次经过格尔木河、昆仑山、可可西里山、风火山、楚玛尔河、秀水河、北麓河、乌丽山、沱沱河、扎加藏布、唐古拉山、错那湖、桑曲、念青唐古拉山和拉萨河等[15]。格拉段铁路自建成以来就受到风沙灾害的影响，风沙灾害危及铁路运营安全[16]，其中以红梁河、秀水河—北麓河、沱沱河、通天河、扎加藏布、错那湖 6 个路段的风沙灾害最为严重[17]。

以往关于青藏铁路格拉段沿线沙漠化的研究主要集中在沙害成因、沙害类型和沙害防治以及工程治沙措施防护机理等方面[17-22]，铁路沿线沙漠化土地变化及引起这些变化原因的研究很少。本研究利用遥感监测技术，采用人机交互的目视解译方法，以风沙灾害严重的青藏铁路错那湖段为例，探讨青藏铁路错那湖段沙漠化土地变化特征及其变化成因，关注沙漠化土地变化与铁路建设和运营的关系，为青藏铁路错那湖段土地沙漠化防治和生态环境恢复提供科学依据。

1 研究区域

青藏铁路错那湖段位于西藏自治区安多县境内，风沙灾害较为严重的路段长约 15 km，以该段铁路两侧各 20 km 区域作为研究区，研究区域总面积为 604.23 km²。典型地貌为断陷盆地，地势东高西低，东部主要为沙地，西部和北部主要为河流冲积平原和唐古拉山山前洪积扇。研究区域内年平均温度为 -1.3 ℃，年平均降水量 411 mm，最冷月的平均温度 -12.9 ℃，最热月的平均温度 8.0 ℃[19]，2015 年的平均风速为 3.38 m·s⁻¹，以西风为主。研究区域概况如图 1 所示。

① **收稿日期：** 2019-01-29； **修订日期：** 2019-03-30
基金项目： 国家重大科学研究计划（2013CB956001）
作者简介： 陈长委，男，硕士研究生，研究方向为环境演变. E-mail：2601355729@qq.com
通讯作者： 伍永秋. E-mail：ywqu@bnu.edu.cn

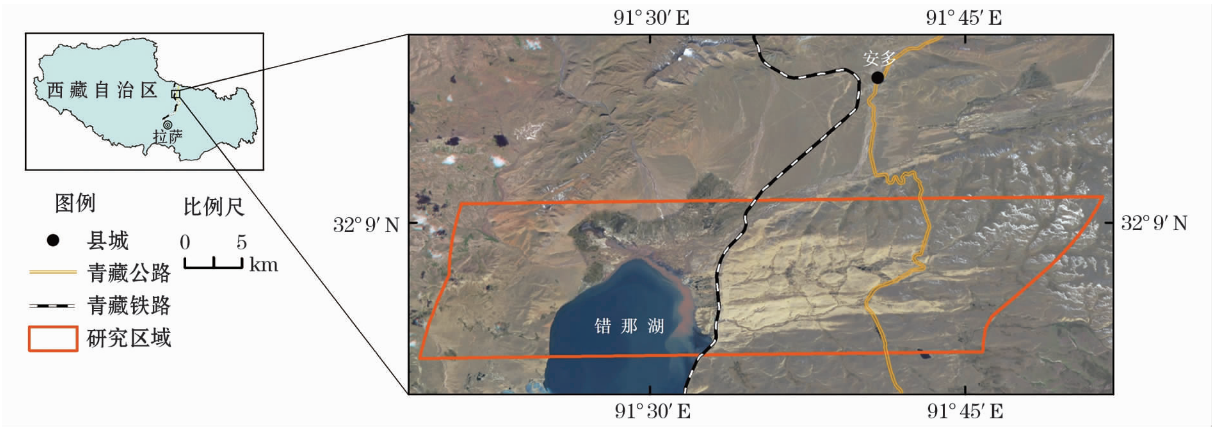


图1　研究区域概况图

Fig. 1　Sketch map of the study area

2　数据源与方法

2.1　数据源

以Landsat影像作为青藏铁路错那湖段土地沙漠化信息提取的主要数据源,同时辅以Google Earth影像等数据。Landsat影像数据包括2001年的ETM、2008年的TM和2015年的OLI,数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心和地理空间数据云(http://www.resdc.cn和http://www.gscloud.cn/),每期均为一景,共三景,分别代表错那湖段青藏铁路建设前、青藏铁路建设完成开始运营和青藏铁路运营期的土地沙漠化状况;9月/10月为青藏铁路错那湖段植被生长状况趋于稳定的时相,选取9月/10月份的Landsat影像,以更好的反应土地沙漠化的状况。在2016年9~10月对青藏铁路错那湖段土地沙漠化状况进行野外考察,利用GPS进行各种类型沙漠化土地的定位,结合遥感影像特征,建立解译标志。气象数据来自于国家气象科学数据共享服务平台(http://data.cma.cn/),年末牲畜存栏头数从中国经济与社会发展统计数据库中进行收集(http://tongji.cnki.net/)。

2.2　数据处理

为了消除大气和光照等因素对地物反射的影响,在ENVI中对Landsat影像进行辐射定标和FLASSH大气校正。统一遥感影像的地理坐标系和投影坐标系,利用ERDAS软件中的IMAGINE Autosync模块快速准确地进行三期遥感影像的相互配准。在ArcGIS中设置假彩色波段组合,根据已建立的解译标志,进行沙漠化土地的目视解译,并对解译结果,即三期沙漠化土地矢量图进行叠加分析和缓冲区分析。

2.3　沙漠化土地分类分级指标体系

根据前人研究和野外考察,结合青藏铁路错那湖段沿线实际情况,按照综合性、主导性、实用性和层次性原则制定适合本研究区域的沙漠化土地分类分级标准[23-24]。该分类标准共包含4级7类(表1),以地表植被覆盖度、裸沙(流沙)占地百分比、地表物质组成和地表景观信息为主要指标,并根据遥

表1　沙漠化土地分类分级体系

Tab. 1　Classification and grading system of desertified land in the study area

程度	类型	植被覆盖度	裸沙(流沙)占地	砾石含量	地表主要特征
轻度沙漠化	固定沙地	30%~50%	5%~10%	<10%	多为固定沙丘以及斑块状流沙、小型沙丘
	半裸露沙砾地	10%~30%		>10%	地表平坦,风蚀痕迹明显,有灌丛沙堆
	工程治沙地				以非生物措施固定的沙丘或沙地
中度沙漠化	半固定沙地	10%~30%	10%~30%	<10%	以半固定沙丘、沙垄和片状风蚀为主,有较多植被覆盖
	裸露沙砾地	<10%		>10%	地表平坦,布满粗沙和砾石,有小沙丘零分布,总体呈戈壁景观
重度沙漠化	半流动沙地	5%~10%	30%~50%	<10%	地表风蚀强烈,形成比较稀疏的沙丘和风蚀坑、槽、墩,主要包括平沙地、山坡沙地等,有少量植被覆盖
极重度沙漠化	流动沙地	<5%	>50%	<10%	地表风沙活动明显,沙丘密集高大,以新月形沙丘、沙丘链及复合型沙丘为主;区域以流动沙地(丘)、风蚀残丘和劣地为主

感影像特征,进行青藏铁路错那湖段沿线沙漠化土地类型和程度的判别。沙漠化土地以外的土地类型统称为非沙漠化土地。

3 近 15 a 以来青藏铁路错那湖段沙漠化土地的时空变化分析

3.1 沙漠化土地现状

2015 年研究区域共有沙漠化土地 158.88 km^2(表 2),占总面积的 26.29%。其中,轻度、中度、重度和极重度沙漠化土地分别占沙漠化土地总面积的 25.30%、31.95%、35.54% 和 7.21%。沙漠化土地主要以固定沙地、半固定沙地和半流动沙地为主,沙砾地面积较小。

3.2 沙漠化土地的时间变化

对 2001 年、2008 年和 2015 年研究区域沙漠化土地的面积进行分类统计发现(图 2、表 2),2001 年至 2008 年沙漠化土地面积略有增加,从 165.57 km^2 增加到 167.78 km^2,其中极重度沙漠化土地大幅减少,减少 32.43%,重度沙漠化土地增加 2.27%,中度沙漠化减少 2.08%,轻度沙漠化土地增加 54.48%,沙漠化土地总面积增加 2.21 km^2,沙漠化土地程度呈减轻趋势。2008—2015 年沙漠化土地面积从 167.78 km^2 减少到 158.88 km^2,其中重度和极重度沙漠化土地分别减少 21.77% 和 37.77%,中度沙漠化土地基本保持不变,轻度沙漠化土地增加 35.67%,年均沙漠化土地逆转速率为 0.76%,土地沙漠化呈持续减轻趋势。

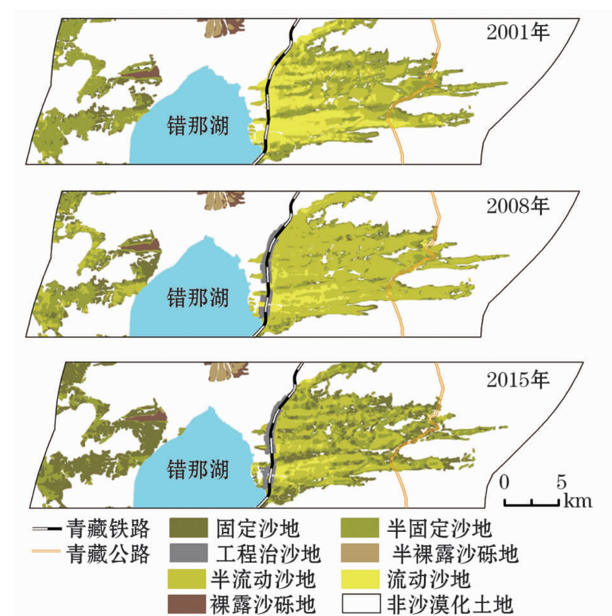


图 2 2001 年、2008 年和 2015 年研究区域沙漠化土地图

Fig. 2 Distribution map of desertified land in the study area in 2001, 2008 and 2015

3.3 沙漠化土地的空间变化

根据三期研究区域沙漠化土地矢量图(图 2),并通过叠加分析可得,2001 年轻度和中度沙漠化土地主要分布在错那湖西侧以及错那湖东侧沙地外缘部分,重度和极重度沙漠化土地主要集中分布在错那湖东侧沙地。

2001—2008 年研究区域土地沙漠化程度减轻,土地沙漠化程度减轻区域主要集中分布在错那湖东侧和错那湖北侧唐古拉山山前洪积扇,错那湖西侧地区呈零星分布;土地沙漠化程度增加区域主要集中分布在错那湖西北部外侧区域以及错那湖东侧沙地青藏公路沿线区域。2008—2015 年青藏铁路错那湖段土地沙漠化持续减轻,土地沙漠化程度增加区域主要集中分布在错那湖西北部外侧区域,在其他区域土地沙漠化程度整体表现为减轻的趋势。

3.4 不同程度沙漠化土地的转移分析

对 2001 年、2008 年和 2015 年研究区域沙漠化土地矢量图进行相交运算,得出 2001—2008 年和 2008—2015 年两个时期不同程度的沙漠化土地之间及其与非沙漠化土地之间的转移矩阵(表 2)。

从表 2 中可以看出,2001—2008 年,极重度沙漠化土地减少 8.83 km^2,主要转化为轻度沙漠化土地和重度沙漠化土地,分别为 3.91 km^2 和 6.90 km^2;重度沙漠化中有 1.97 km^2 转化为极重度沙漠化,7.16 km^2 转化为中度沙漠化,而中度沙漠化转为重度沙漠化的面积仅为 3.74 km^2;轻度沙漠化土地面积的增加,主要由中度沙漠化土地转化,面积为 6.62 km^2,而轻度沙漠化转化为中度沙漠化的面积为 2.62 km^2。由此可见,极重度沙漠化土地的逆转面积大于其发展面积,中度沙漠化土地发展为重度沙漠化土地的面积小于重度沙漠化土地逆转为中度沙漠化土地的面积,轻度沙漠化土地转化为中度沙漠化土地的面积为中度沙漠化土地逆转为轻度沙漠化土地面积的 39.58%。此外,由非沙漠化的土地发展为沙漠化的土地面积为 6.49 km^2,而由沙漠化的土地转为非沙漠化的土地面积 4.29 km^2。因此在这一时期,沙漠化土地面积呈扩张趋势,而土地沙漠化程度呈减轻的趋势。

从表 2 中可以看出,2008—2015 年,轻度沙漠化土地面积大幅增加,中度沙漠化土地增加 3.19 km^2,

表 2　研究区域不同程度沙漠化土地转移矩阵

Tab. 2　Transfer matrix of desertified land of different degrees in the study area

年份	程度	轻度沙漠化 / km²	中度沙漠化 / km²	重度沙漠化 / km²	极重度沙漠化 / km²	非沙漠化 / km²	合计
2001—2008	轻度沙漠化	13.99	2.62	0.11	0.02	2.46	19.18
	中度沙漠化	6.62	36.79	3.74	0.07	1.36	48.58
	重度沙漠化	1.50	7.16	59.75	1.97	0.20	70.58
	极重度沙漠化	3.91	0.00	6.90	16.15	0.27	27.23
	非沙漠化	3.61	1.00	1.68	0.20	432.17	438.66
	合计	29.63	47.57	72.18	18.40	436.46	604.23
2008—2015	轻度沙漠化	19.48	2.42	0.05	0.00	7.68	29.63
	中度沙漠化	13.30	24.64	1.10	0.01	5.51	47.57
	重度沙漠化	2.15	21.27	45.68	1.27	1.82	72.18
	极重度沙漠化	0.20	0.11	8.18	9.73	0.18	18.40
	非沙漠化	5.06	2.32	1.47	0.44	427.16	436.46
	合计	40.20	50.76	56.47	11.45	445.35	604.23

重度沙漠化土地和极重度沙漠化土地明显减少，沙漠化土地总面积减少 8.9 km²。沙漠化土地中逆转面积最大的为重度沙漠化土地转化为中度沙漠化土地 21.27 km²，其次为中度沙漠化土地逆转为轻度沙漠化土地 13.30 km²，极重度沙漠化土地逆转为重度沙漠化土地 8.18 km²。这一时期沙漠化土地呈现出逐级逆转趋势，即极重度沙漠化土地逆转为重度沙漠化土地，重度沙漠化土地逆转为中度沙漠化土地，中度沙漠化土地逆转为轻度沙漠化土地。因此这一时期内，沙漠化土地总面积减少，土地沙漠化程度持续减轻。

4　沙漠化土地变化的成因分析

4.1　自然因素

自然因素是影响沙漠化土地变化的内在驱动力，在沙漠化土地变化过程中起着重要的作用[23]。气温、降水和风速是影响土地沙漠化过程的主要气候因子。本文选取距离研究区域最近的安多气象站的数据，分别统计其年平均气温、年降水量和年平均风速，用以表征研究区域自然因素的变化。

在干旱和半干旱地区，降水对植被的生长具有重要的影响，暖湿的气候促进区域植被生长，有利于沙漠化的逆转，暖干的气候导致区域植被的长势变差，不利于沙漠化的逆转。青藏铁路错那湖段年平均气温在波动中表现出上升的趋势（图 3）。其中 2001—2008 年和 2008—2015 年，年平均气温均呈现上升的趋势，分别增加 0.08 ℃和 0.49 ℃。降水量在波动中表现出下降的趋势（图 3）。其中与 2001 年相比，2008 年降水量略有增加，增加 18 mm，2015 年降水量最少。此外，风是影响沙漠化发展的重要气候因子。2001—2015 年，研究区域年平均风速的变化与沙漠化土地的变化具有较好的一致性（图 3），与 2001 年的年平均风速 3.52 m·s⁻¹相比，2008 年的年平均风速和 2015 年的年平均风速都有所降低。因此，2001—2015 年风对研究区域沙漠化土地发展的影响减弱，其中，2001—2008 年风对研究区域沙漠化土地发展的影响呈减弱趋势，2008—2015 年风对研究区域沙漠化土地发展的影响呈增强趋势。由此可见，气温、降水和风速的变化与土地沙漠化程度的变化并不一致，2001—2008 年，年平均气温升高，年平均风速降低，土地沙漠化程度呈减轻趋势，2008—2015年，年平均气温持续升高，年降

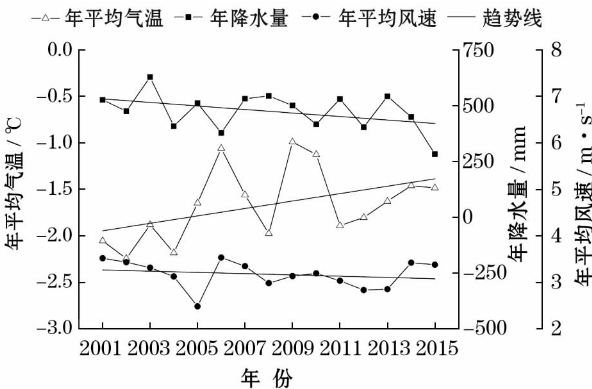


图 3　2001—2015 年研究区域年平均气温、年降水量和年平均风速变化

Fig. 3　Annual mean temperature, annual precipitation and annual mean wind speed varied from 2001 to 2015 in the study area

水量减少,年平均风速升高,土地沙漠化程度持续减轻。

4.2 人为因素

人为因素是影响沙漠化土地变化的外在驱动力[23]。不合理的人类活动会加速土地沙漠化的发展,积极的人类活动会使土地沙漠化发生逆转[25]。由于安多县是一个纯牧业大县,人口主要集中分布在县城和乡镇,本研究区域内人口较少且难以统计,牲畜存栏头数能够很好的反映出畜牧业的发展状况,选取年安多县年末牲畜存栏头数作为表征研究区域人类活动强弱的指标。夏季的牧场和冬季的牧场比例不平衡造成的超载过牧、草地承受不均匀的放牧压力以及牲畜践踏对草地的破坏,都会加剧草地的退化和沙化[7, 26]。2001—2008 年,年末牲畜存栏头数持续增加(图 4),使大部分草场处于超载过牧状态,有利于土地沙漠化的扩展,青藏公路沿线区域土地沙漠化程度的加重与之密不可分。年末牲畜存栏头数在 2004 年达到最大 121.05 × 10^4 头只,2001—2004 年安多县年末牲畜存栏头数迅速增加 19.77 × 10^4 头只, 2004 年以后,年末牲畜存栏头数逐年下降。2008—2015 年,年末牲畜存栏头数持续减少,2015 年年末牲畜存栏头数与 2008 年相比减少 26.14 × 10^4 头只,这一阶段有利于土地沙漠化的逆转。此外,2005 年安多县开始实施草场承包经营责任制和退牧还草工程试点项目,一系列生态保护政策的实施,在研究区域土地沙漠化的逆转过程中也起到重要的作用。

从以上分析可以得出,2001—2008 年,研究区域土地沙漠化程度减轻,主要与气温升高以及风速降低有关, 这一时期沙漠化土地面积增加 2.21 km^2 是人为因素作用的结果,与年末牲畜存栏头数增加有关。2008—2015 年,年平均气温持续升高,年降水量减少,年平均风速升高,研究区域沙漠化土地面积减少 8.90 km^2,土地沙漠化程度持续减轻是主要与人为因素有关,年末牲畜存栏头数逐年下降,草场的超载过牧状态减轻,以及政府实施一系列的生态保护措施都对土地沙漠化的逆转起到了重要作用。因此,土地沙漠化的逆转是自然因素和人为因素共同作用的结果。人类活动在土地沙漠化逆转中起到了重要作用。

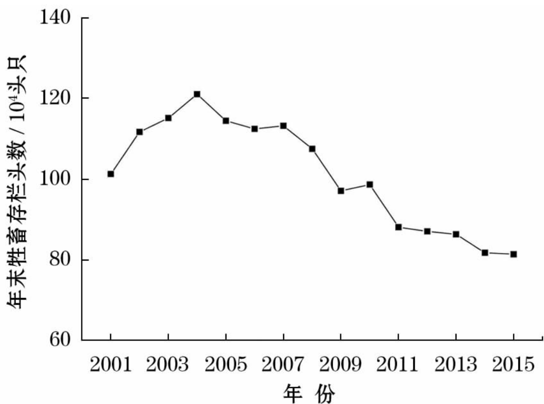


图 4 2001—2015 年安多县年末牲畜存栏头数变化

Fig. 4 Number of livestock varied from 2001 to 2015 in Amdo County

5 沙漠化土地变化与铁路的关系

5.1 不同缓冲区内沙漠化土地变化规律

对研究区域铁路沿线沙漠化土地的变化进行缓冲区分析,分别以 0.5 km、1 km、2 km、5 km 和 10 km 作为缓冲距离,分析其沙漠化土地的变化情况,结果表明(表 3),在 5 个不同距离范围内沙漠化土地的总面积呈现出先增加后递减的趋势,即 2001—2008 年沙漠化土地总面积增加,2008—2015 年沙漠化总面积减少。从 2001—2008 年,在距离铁路 0.5 km、1 km、2 km、5 km 和 10 km 范围内沙漠化土地面积分别增加 10.08%、7.51%、4.35%、1.93% 和 0.92%,随着离铁路距离的增加,沙漠化土地面积增加的百分比降低。从 2008—2015 年,在距离铁路 0.5 km、1 km、2 km、5 km 和 10 km 范围内沙漠化土地分别减少 1.85%、0.96%、1.41%、2.44% 和 3.65%,随着离铁路距离的增加,沙漠化土地面积减少的百分比增加,唯一例外是从 0.5 km 到 1 km,这个比例是降低的。

表 3 不同缓冲区内沙漠化土地的面积变化

Tab. 3 Desertified land area change in different buffer zone

年份		0.5 km	1 km	2 km	5 km	10 km
2001—2008	变化量/km^2	0.89	1.17	1.21	1.15	0.93
	变化百分比/%	10.08	7.51	4.35	1.93	0.92
2008—2015	变化量/km^2	-0.18	-0.16	-0.41	-1.48	-3.74
	变化百分比/%	-1.85	-0.96	-1.41	-2.44	-3.65

注:正值表示增量,负值表示减量

5.2 铁路建设对沙漠化土地的影响范围

在铁路两侧 2 km 范围内,铁路建设对土地沙漠化有较大的影响(表 4)。在铁路两侧距离铁路 0.5 km范围内, 2001—2008 年, 沙漠化土地面积增

表4　铁路东西两侧不同范围内不同类型的沙漠化土地面积统计

Tab.4　Desertified land areas of various types in different buffer zones within 2 km on both sides of railway line

距离		铁路东侧			铁路西侧		
		2001 年	2008 年	2015 年	2001 年	2008 年	2015 年
0.5 km	固定沙地/km^2	0.17	0.20	0.21	0.01	0.02	0.01
	半固定沙地/km^2	0.19	0.12	0.46	0.17	0.12	0.08
	半流动沙地/km^2	2.00	1.57	1.84	0.90	0.20	0.08
	流动沙地/km^2	3.33	1.18	0.62	2.06	0.33	0.01
	工程治沙地/km^2	0.00	2.65	2.65	0.00	3.32	3.43
	合计	5.69	5.72	5.78	3.14	3.99	3.61
0.5～1 km	固定沙地/km^2	0.14	0.18	0.33	0.00	0.02	0.06
	半固定沙地/km^2	0.53	0.46	0.84	0.10	0.07	0.20
	半流动沙地/km^2	2.76	3.04	3.29	0.18	0.58	0.48
	流动沙地/km^2	2.40	2.14	1.26	0.65	0.29	0.14
	工程治沙地/km^2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.45
	合计	5.83	5.82	5.72	0.93	1.21	1.33
1～2 km	固定沙地/km^2	0.69	0.64	1.01	0.00	0.00	0.05
	半固定沙地/km^2	1.70	1.66	2.43	0.00	0.03	0.29
	半流动沙地/km^2	5.57	6.34	5.55	0.41	0.56	0.31
	流动沙地/km^2	3.71	3.00	2.10	0.16	0.07	0.28
	工程治沙地/km^2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
	合计	11.67	11.64	11.09	0.57	0.66	0.95

加0.88 km^2(增加10.08%)。但作为极重度沙漠化土地的流动沙地面积减少3.88 km^2(减少71.99%),铁路东侧减少2.15 km^2,铁路西侧减少1.73 km^2;重度沙漠化土地即半流动沙地面积减少1.13 km^2(减少38.97%),铁路东侧减少0.43 km^2,铁路西侧减少0.70 km^2,这些减少的面积大部分转化为轻度沙漠化土地即工程治沙地,工程治沙地面积增加5.97 km^2,铁路东侧增加2.65 km^2,铁路西侧增加3.32 km^2;表明在特别靠近铁路的范围内,为保护铁路建设的防沙治沙工程,在客观上起到了减轻该区域内沙漠化程度的作用。2008—2015年,流动沙地面积持续减少,铁路东侧减少0.56 km^2,铁路西侧减少0.31 km^2;铁路东侧工程治沙地面积保持不变,铁路西侧工程治沙地增加0.11 km^2;沙漠化土地总面积也减少,铁路东侧沙漠化土地减少0.38 km^2,铁路西侧增加0.06 km^2,土地沙漠化程度持续减轻。

在铁路两侧距离铁路0.5～1 km范围内,2001—2008年,沙漠化土地面积表现出与0.5 km范围内相似的变化,流动沙地面积减少0.62 km^2(减少20.33%),铁路东侧减少0.26 km^2,铁路西侧减少0.36 km^2;工程治沙地面积增加0.25 km^2,增加的工程治沙地全部位于铁路西侧,铁路东侧0.5～1 km范围内无工程治沙地。2008—2015年,铁路东西两侧流动沙地面积均持续减少,分别减少0.88 km^{2}和0.15 km^2,铁路西侧工程治沙地继续增加0.20 km^2。随着离铁路距离的增加,铁路工程对沙漠化土地的影响在减弱。

在铁路两侧距离铁路1～2 km范围内,2001—2008年,流动沙地减少0.08 km^2,铁路东西两侧流动沙地面积分别减少0.71 km^{2}和0.09 km^2,工程治沙地在此范围内均为0.00 km^2。2008—2015年工程治沙地面积增加0.02 km^2,全部位于铁路西侧,铁路东侧此范围内无工程治沙地。当与铁路距离增加到2 km以上时,工程治沙地面积不再增加,铁路对沙漠化土地的影响几乎可以忽略不计。

综上所述,铁路在建设过程中对周边生态环境产生扰动作用,导致沙漠化土地面积略有增加。铁路沿线防沙工程措施的设立对土地沙漠化程度的逆转起到了重要作用,尤其在2001年2008年由于防沙工程措施的工程设立使距离铁路0.5 km范围内的流动和半流动沙地面积大幅度减少。铁路东侧防沙治沙工程措施全部位于距离铁路0.5 km范围内,铁路西侧的防沙治沙工程措施全部位于2 km范围内。因此,青藏铁路对周边环境的影响范围为2 km。

6　结论

本文利用3S技术手段,对青藏铁路错那湖段进行沙漠化土地信息提取,并对沙漠化土地动态变化的成因以及与铁路建设的关系进行分析。主要结论有:

(1) 2015 年青藏铁路错那湖段沙漠化土地主要以沙地为主,沙砾地面积较小。近 15 a 以来研究区域沙漠化土地总面积经历了略有增加到大幅减少两个阶段,但土地沙漠化程度表现出持续减轻的趋势。

(2) 青藏铁路错那湖段土地沙漠化的逆转是自然因素和人为因素综合作用的结果。2001—2008 年研究区域土地沙漠化程度减轻主要与自然因素有关,沙漠化土地面积增加主要与人为因素有关。2008—2015 年,沙漠化土地面积减少以及土地沙漠化程度持续减轻主要与人为因素有关。

(3) 青藏铁路在建设过程中对错那湖段周边生态环境产生扰动作用,2001—2008 年,距离铁路越近,沙漠化土地面积增加的百分比越大。铁路沿线防沙治沙工程措施的设立对土地沙漠化程度的减轻起到了重要作用;铁路对周边生态环境的影响范围为 2 km,当与铁路距离大于 2 km 时,铁路对沙漠化土地的影响几乎可以忽略不计。

参考文献(References)

[1] 牛亚菲.青藏高原生态环境问题研究[J].地理科学进展,1999,18(2):163－171.[NIU Yafei. The study of environment in the Plateau of Qin-Tibet[J]. Progress in Geography,1999,18(2):163－171.]

[2] 涂军.应用遥感技术调查草地沙漠化的研究——以四川省若尔盖县为例[J].遥感技术动态,1990,(4):46－51.[TU Jun. Study on the application of remote sensing technology to investigate grassland desertification:A case study of Zoigai County in Sichuan Province[J]. The Dynamic of Remote Sensing Technology,1990,(4):46－51.]

[3] 沙占江,曾永年,李玲琴,等.土地沙漠化动态监测的遥感与 GIS 一体化探讨——以龙羊峡库区为例[J].干旱区地理.2000,23(3):274－278.[SHA Zhanjiang,ZENG Yongnian,LI Lingqin,et al. Dynamic monitoring of land desertification by RS and GIS:A case study in Longyangxia Reservoir area[J]. Arid Land Geography,2000,23(3):274－278.]

[4] 虞卫国,陈克龙.青海湖环湖区沙漠化土地的遥感动态研究[J].盐湖研究,2002,10(4):48－51.[YU Weiguo,CHEN Kelong. Dynamic study on the remote sensing of desertified areas around the Qinghai Lake[J]. Journal of Salt Lake Research,2002,10(4):48－51.]

[5] 张佩民,张振德,李晓琴,等.青藏高原荒漠化遥感信息提取及演变分析[J].干旱区地理,2006,29(5):710－717.[ZHANG Peimin,ZHANG Zhende,LI Xiaoqin,et al. Desertification remote sensing information extraction from Qinhai-Tibet Plateau and evolution analysis[J]. Arid Land Geography,2006,29(5):710－717.]

[6] 曾永年,冯兆东.黄河源区土地沙漠化时空变化遥感分析[J].地理学报,2007,62(5):529－536.[ZENG Yongnian,FENG Zhaodong. Spatial and temporal changes of desertification in the headwater area of the Yellow River using remote sensing[J]. Acta Geographica Sinica,2007,62(5):529－536.]

[7] 封建民,王涛.遥感和 GIS 支持下的黄河源区土地沙漠化研究[J].水土保持通报,2008,28(2):116－120.[FENG Jianmin,WANG Tao. Remote sensing and gis analyses of sand desertification in the source region of the Yellow River[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2008,28(2):116－120.]

[8] YAN C Z,SONG X,ZHOU Y M,et al. Assessment of aeolian desertification trends from 1975's to 2005's in the watershed of the Longyangxia Reservoir in the upper reaches of China's Yellow River[J]. Geomorphology,2009,112(3－4):205－211.

[9] 胡光印,董治宝,逯军峰,等.近 30 a 来长江源区沙漠化时空演变过程及成因分析[J].干旱区地理,2011,34(2):300－308.[HU Guangyin,DONG Zhibao,LU Junfeng,et al. Land desertification monitoring in the source region of Yangtze River from 1975 to 2005 and the analysis of its causes[J]. Arid Land Geography,2011,34(2):300－308.]

[10] HU G Y,DONG Z B,LU J F,et al. The developmental trend and influencing factors of aeolian desertification in the Zoige Basin,eastern Qinghai-Tibet Plateau[J]. Aeolian Research,2015,19:275－281.

[11] LI X Y,YAO Z Y,DONG Z B,et al. Causes and processes of sandy desertification in Guinan County,Qinghai-Tibet Plateau[J]. Environmental Earth Sciences. 2016,75(8):650.

[12] LI Q,ZHANG C L,SHEN Y P,et al. Developing trend of aeolian desertification in China's Tibet Autonomous Region from 1977 to 2010[J]. Environmental Earth Sciences. 2016,75(10):895.

[13] ZHANG C L,LI Q,SHEN Y P,et al. Monitoring of aeolian desertification on the Qinghai-Tibet Plateau from the 1970s to 2015 using Landsat images[J]. Science of the Total Environment,2018,619:1648－1659.

[14] 李森,董玉祥,董光荣,等.青藏高原土地沙漠化区划[J].中国沙漠,2001,21(4):103－112.[LI Sen,Dong Yuxiang,DONG Guangrong,et al. Regionalization of land desertification on Qinghai-Tibet Plateau[J]. Journal of Desert Research,2001,21(4):103－112.]

[15] 孙士云.青藏铁路沿线的生态环境特点及保护对策[J].冰川冻土,2003,(增刊 1):181－185.[SUN Shiyun. Characteristics of ecological environment and its protection along the Qinghai-Tibet Railway[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2003,(Suppl. 1):181－185.]

[16] ZHANG K C,QU J J,LIAO K T,et al. Damage by wind-blown sand and its control along Qinghai-Tibet Railway in China[J]. Aeolian Research. 2010,1(3/4):143－146.

[17] 谢胜波,屈建军,刘冰,等.青藏铁路沙害及其防治研究进展[J].中国沙漠,2014,34(1):42－48.[XIE Shenbo,QU Jianjun,LIU Bing,et al. Advances in research on the sand hazards and its controls along the Qinghai-Tibet Railway[J]. Journal of Desert Research,2014,34(1):42－48.]

[18] 杨印海,蒋富强,王锡来,等.青藏铁路错那湖段沙害防治措施研究[J].中国沙漠,2010,30(6):1256－1262.[YANG Yinhai,JIANG Fuqiang,WANG Xilai,et al. Prevention and management of blown-sand hazards along Qinghai-Tibet Railway in Co Nag Lake region[J]. Journal of Desert Research,2010,30(6):1256－1262.]

[19] 殷代英,屈建军,韩庆杰,等.青藏铁路错那湖段风沙活动强度特征分析[J].中国沙漠,2013,33(1):9－15.[YIN Daiying,QU Jianjun,HAN Qingjie,et al. Wind-blown sand activity intensity along Qinghai-Tibet Railway in Co Nag Lake region[J]. Journal of Desert Research,2013,33(1):9－15.]

[20] 安志山,张克存,屈建军,等. 青藏铁路沿线风沙灾害特点及成因分析[J]. 水土保持研究,2014,21(2):285－289. [AN Zhishan,ZHANG Kecun,QU Jianjun,et al. Sand hazard chaaracteristics and genetic analysis along Qinghai-Tibet Railway[J]. Research of Soil and Water Conservation,2014,21(2):285－289.]

[21] 张克存,屈建军,姚正毅,等. 青藏铁路格拉段风沙危害及其防治[J]. 干旱区地理,2014,37(1):74－80. [ZHANG Kecun,QU Jianjun,YAO Zhengyi, et al. Sand damage and its control along Qinghai-Tibet Railway from Golmud to Lhasa[J]. Arid Land Geography,2014,37(1):74－80.]

[22] 谢胜波,屈建军. 青藏铁路主要沙害路段治理技术及成效[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(7):105－110. [XIE Shengbo,QU Jianjun. Sand damage control and effect at main sections of Qinghai-Tibet Railway[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2014,28(7):105－110.]

[23] 李森,杨萍,高尚玉,等. 近10年西藏高原土地沙漠化动态变化与发展态势[J]. 地球科学进展,2004,19(1):63－70. [LI Sen,YANG Ping,GAO Shangyu,et al. Dynamic changes and developmental trends of the land desertification in Tibetan Plateau over the past 10 years[J]. Advance in Earth Sciences,2004,19(1):63－70.]

[24] 沈渭寿,李海东. 雅鲁藏布江流域风沙化土地遥感监测与生态恢复研究[M]. 北京:中国环境科学出版社,2012. [SHEN Weishou,LI Haidong. Remote sensing monitoring and ecological restoration of aeolian sandy land in Yarlung Zangbo River Basin[M]. Beijing:China Environmental Science Press,2012.]

[25] 田丽慧,张登山,胡梦珺,等. 1976—2007年青海省刚察县土地沙漠化驱动力分析[J]. 中国沙漠,2013,33(2):493－500. [TIAN Lihui,ZHANG Dengshan,HU Mengjun,et al. Driving forces of land aeolian desertification in Gangcha County of Qinghai Province,China, during 1976—2007[J]. Journal of Desert Research,2013,33(2):493－500.]

[26] 张慧超,沙占江,张婷婷,等. 20年来环青海湖区沙漠化土地的空间变化及其驱动力分析[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(3):59－64. [ZHANG Huichao,SHA Zhanjiang,ZHANG Tingting,et al. Spatial variation and driving force of sandy desertification in the peripheral area of the Qinghai Lake in recent 20 years[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2011,25(3):59－64.]

Desertified land change and its causes in Co Nag Lake region along Qinghai-Tibet Railway

CHEN Chang-wei, WU Yong-qiu, TAN Li-hua, DU Shi-song, DUAN Jin-long

(*State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology*, *Faculty of Geographical Science*, *Beijing Normal University*, *Beijing* 100875, *China*)

Abstract: The impacts of desertified land change (DLC) during the construction of Qinghai-Tibet Railway of China from Golmud to Lhasa have given rise to important research significance. Based on the Landsat image, Google Earth image and the meteorological data about Co Nag Lake region along Qinghai-Tibet Railway, this study uses RS and GIS technologies and conducts fieldwork to establish interpretation signs and to construct a classification & grading system for the DLC in the study area, and then employs visual interpretation method to extract the DLC information in 2001, 2008 and 2015 respectively. The spatiotemporal evolution of the DLC over the last 15 years is analyzed. The results show as follows: (1) In 2015, the desertified land was mainly sandy land but the area of sandy gravel land was relatively small in study area. The area of desertified land was increased by 2.21 km^2 from 2001 to 2008 yet the degree of land desertification showed a declining trend. The desertified land was decreased by 8.9 km^2 from 2008 to 2015 and the declining degree of land desertification continued. (2) From 2001 to 2008, the increase in desertified land area was related to the increase in the number of livestock such as yak and sheep. The decline of land desertification was mainly due to the increase of annual mean temperature and the decrease in annual mean wind speed. From 2008 to 2015, the decrease of desertified land and the alleviation of the degree of land desertification were resulted from the gradual decrease in the number of livestock and the implementation of ecological restoration projects by the local government. Hence, human activities played an important role in the decline of land desertification in the 15 years. (3) The construction of the Qinghai-Tibet railway generated a disturbance to the ecological environment in the study area. The scope of influence by railway is about 2 km. While the engineering measurements of controlling land desertification along the railway lines played an important role in alleviating the degree of land desertification. In short, the discussion of the factors including the impacts of railway construction on DLC can provide some scientific basis for the prevention of land desertification and for the rehabilitation of ecological environment.

Key words: Qinghai-Tibet Railway; Co Nag Lake; desertification; natural factors; human factors